

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-097540

(43)Date of publication of application : 08.04.1994

(51)Int.Cl.

H01S 3/02
H01S 3/0959
H01S 3/16

(21)Application number : 04-246511

(71)Applicant : SUMITOMO ELECTRIC IND LTD

(22)Date of filing : 16.09.1992

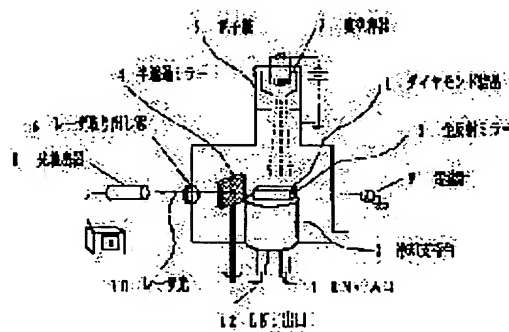
(72)Inventor : KAWARADA HIROSHI
IMAI TAKAHIRO
NISHIBAYASHI YOSHIKI
FUJIMORI NAOHARU

(54) SOLID LASER

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide a small-sized stable ultraviolet laser of high efficiency, by using a diamond crystal as the medium of laser oscillation.

CONSTITUTION: A diamond crystal of high crystallinity wherein impurity contents are suitably controlled emits light whose wavelength is in the range of 225-300nm by the pumping of application of an electron beam or carrier injection. 1b type diamond single crystal is worked into a rectangular parallelepiped of $7 \times 3 \times 1$ mm³ and polished. Gold is evaporated on the single surface of 3×1 mm² of the rectangular parallelepiped, thereby obtaining a total reflection mirror. This diamond 1 is mounted on a cooling base 2, and the periphery is vacuumized. The surface of 7×3 mm² of the diamond is irradiated with an electron beam from an electron gun 5 arranged above the diamond 1. While the electron beam irradiation is repeated, the angle of a half mirror 4 arranged on the opposite side of the total reflection mirror 3 is finely adjusted. Thereby desired laser light is oscillated.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 08.06.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 31.07.2001

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3462514

[Date of registration] 15.08.2003

[Number of appeal against examiner's decision] 2001-15303

of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection] 30.08.2001

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-97540

(43)公開日 平成6年(1994)4月8日

| (51)IntCl. ⁵ | 識別記号 | 庁内整理番号 | FI | 技術表示箇所 |
|-------------------------|------|---------|-----------|--------|
| H01S 3/02 | | | | |
| 3/0959 | | | | |
| 3/18 | | 8934-4M | | |
| | | 8934-4M | H01S 3/02 | Z |
| | | 8934-4M | 3/09 | C |

審査請求 未請求 請求項の数3(全4頁)

(21)出願番号 特願平4-246511

(22)出願日 平成4年(1992)9月16日

(71)出願人 000002130

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

(72)発明者 川原田 洋

横浜市港北区中山2-9-8-405

(72)発明者 今井 貴浩

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友
電気工業株式会社伊丹製作所内

(72)発明者 西林 良樹

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友
電気工業株式会社伊丹製作所内

(74)代理人 弁理士 上代 哲司 (外1名)

最終頁に続く

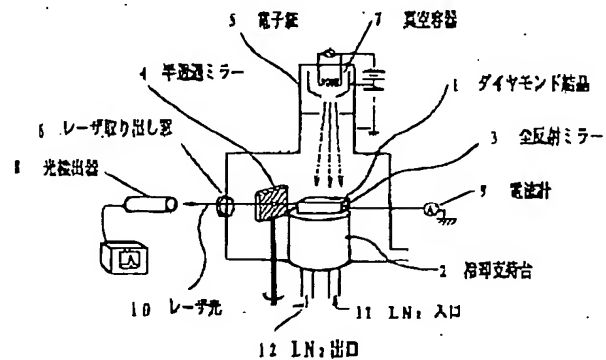
(54)【発明の名称】 固体レーザー

(57)【要約】

【目的】 小型で安定な紫外線固体レーザーを提供する。

【構成】 ダイヤモンド結晶をレーザー発光の媒質とし励起子発光によって、波長225nm以上300nm以下のレーザー光を発生する。

【効果】 本発明の紫外線固体レーザーは、高密度光記録装置用などの用途に好適である。



(2)

特開平6-97540

【特許請求の範囲】

【請求項1】 ダイヤモンド結晶をレーザ発光の媒質とし励起子発光によって、波長225nm以上300nm以下のレーザ光を発生する固体レーザ。

【請求項2】 少なくともレーザ発光媒質としてのダイヤモンド結晶とダイヤモンド結晶を励起するための電子線または紫外線またはX線発生装置とダイヤモンド結晶を一定温度に保つための冷却装置または放熱装置とを有し、ダイヤモンド結晶の励起子発光によって、波長225nm以上300nm以下のレーザ光を発生する固体レーザ装置。

【請求項3】 少なくともレーザ発光媒質としての1ヶ以上の電極を設けたダイヤモンド結晶とダイヤモンド結晶に直流または交流の電界を印加するための電源装置とダイヤモンド結晶を一定温度に保つための冷却装置または放熱装置とを有し、ダイヤモンド結晶の励起子発光によって、波長225nm以上300nm以下のレーザ光を発生する固体レーザ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は紫外線領域で発振する固体レーザに関するものである。

【0002】

【従来の技術】 可視光の青色から紫外光線(400nm以下)の短波長域で小型、高効率で安定性の良いレーザ光が、高密度光記録装置用などとして求められている。

【0003】 これまで400nm以下の短波長域では単なる光源は各種あったが、このような短波長域で発振が可能なレーザはごく限られていた。それらのレーザの方式の一つは窒素レーザ、エキシマレーザなどのガスレーザで、大型で効率が悪く、非常に短時間のパルスとしてしか発振させることができないので、とても光記録などには使用することができなかった。他の方式として500nm以上の長波長のレーザ光を1/2や1/3の波長の高調波に変換するものがあるが、これはレーザの効率を2~3桁低下させるので元の波長のレーザに大型のものをわざわざ得ず実用化に至っていない。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 短波長レーザを広く普及させるためには、小型で安定に発振でき効率の高いものが必要である。そのためにはレーザ発振媒質が固体結晶であるものが望ましい。

【0005】 ダイヤモンドが各種の励起方法によって、可視光から紫外光にかけて発光を示すことは既に示されている。(例えば「ダイヤモンドの励起子発光」川原田洋平木昭夫, NEW DIAMOND, Vol.6 No.3 (1990) p2, 「Cathodoluminescence and electroluminescence of undoped and boron-doped diamond formed by plasma chemical vapor deposition」H.Kawarada Y.Yokota Y.Mori K.Nishimura A.Miraki, J.Appl.Phys., 67(1990) p983, 「Blue and green cathodoluminescence of synthesized diamond films formed by plasma-assisted chemical vapour deposition」H.Kawarada K.Nishimura T.Ito J.Suzuki K.Mar Y.Yokota, Jap.J.Appl.Phys. 27 (4) (1988) p1683 など)

【0006】 また、ダイヤモンド結晶内に不純物や欠陥を導入することによって、カラーセンターを作成し、可視光域の固体レーザを作成する方法も示されている。(例えば特開昭63-246885、特開昭64-20689)

【0007】 このようにダイヤモンドは物質として非常に安定で、透明度が高く、熱伝導率が大きいため、紫外線固体レーザ発振の媒質として優れているためその実現が望まれていたが、これまで紫外域でレーザ発振を行った例はなかった。

【0008】

【課題を解決するための手段】 結晶性が高く、不純物含有量が適度に制御されたダイヤモンド結晶は電子線やキャリア注入による励起によって、励起子発光と呼ばれる発光を起こす。励起によって発生した電子と正孔が対を成して存在するものを励起子というが、この励起子を構成する電子と正孔が再結合するときに発光を生じるものである。ダイヤモンド結晶は励起によって各種の発光を示すが、励起子発光とはこの中で225~300nmの波長範囲の光を放出する発光である。

【0009】 発明者らは、以下のような方法でこの励起子発光を利用して、ダイヤモンド結晶を用いた紫外光レーザ発振に成功した。

【0010】

【課題を解決するための手段】 結晶性が高く、不純物含有量が適度に制御されたダイヤモンド結晶は電子線やキャリア注入による励起によって、励起子発光と呼ばれる発光を起こす。励起によって発生した電子と正孔が対を成して存在するものを励起子というが、この励起子を構成する電子と正孔が再結合するときに発光を生じるものである。ダイヤモンド結晶は励起によって各種の発光を示すが、励起子発光とはこの中で225~300nmの波長範囲の光を放出する発光である。

【0009】 発明者らは、以下のような方法でこの励起子発光を利用して、ダイヤモンド結晶を用いた紫外光レーザ発振に成功した。

【0010】 (1)励起手段としては、電子線照射やX線照射、紫外線照射または電氣的接合によるキャリア注入を用いダイヤモンドの単位面積あたり0.1W/cm²以上の強力な励起を行う。

(2)ダイヤモンド結晶は強力な励起手段によってエネルギーを供給しても温度が室温以下に保たれるように冷却装置によって冷却する。

(3)向い合った反射ミラーによって光共振器を形成する。

【0011】

【作用】 電子線などの励起手段は、ダイヤモンド結晶内に大量の励起子を発生させ、これらの励起子が再結合するときに発生する紫外光が、光共振器によって波長・位相の揃ったレーザ光として一斉に放出される。

【0012】 ダイヤモンド結晶は天然のものでもよいが、天然ダイヤモンドは不純物の少ない品質の揃ったものを入手するのが困難であるので、高圧合成法または気相合成法で合成された人工ダイヤモンドが好ましい。

【0013】 特に、気相合成ダイヤモンドはダイヤモンド以外の黒鉛などの構造を有する炭素を含むことがある

(3)

特開平6-97540

が、このような非ダイヤモンド状炭素は励起子発光によって極めて有害である。ダイヤモンドの合成法によらずダイヤモンド中の非ダイヤモンド炭素の許容できる目安として、ラマン散乱スペクトル法で観察して、 1330 cm^{-1} から 1340 cm^{-1} にピークを有するダイヤモンド特有の散乱ピークの半値幅が 10 cm^{-1} 以下で、かつ、 1500 cm^{-1} から 1600 cm^{-1} に現れる非ダイヤモンド炭素の散乱のピーク高さが先のダイヤモンド特有の散乱のピーク高さの20%以下であることが必要である。

【0014】ダイヤモンド結晶中の炭素以外の不純物元素としては少量の窒素およびホウ素が含まれていてもよい。これらの励起子固体レーザ用ダイヤモンド結晶中の許容濃度はそれぞれ 500 ppm である。 500 ppm を超えると窒素がダイヤモンド中で偏析しが励起子を発光させない再結合中心となって好ましくない。また、ダイヤモンド結晶中の窒素とホウ素を含む不純物の総量は 2000 ppm 以下であることが好ましい。 2000 ppm を超えると窒素のみの場合と同様に不純物が非発光性の再結合中心となって好ましくない。

【0015】ダイヤモンド結晶中の不純物や結晶欠陥の種類や量によって、 225 nm から 300 nm の範囲で波長の異なるレーザ光が発振される。

【0016】ダイヤモンド結晶中に欠陥や不純物を導入する方法としては、高圧合成時に原料に不純物を混入する方法、気相合成時に不純物を混入する方法、不純物をイオン注入する方法、粒子線（電子線、X線、中性子線など）で欠陥を生じさせる方法、低圧下または高圧下で加熱処理する方法、およびそれらの組み合わせで可能である。

【0017】多結晶ダイヤモンドでは結晶粒界や結晶粒の端が励起子を失活させる再結合中心となるのでダイヤモンド結晶は単結晶であることが好ましく、多結晶であってもなるべく一つ一つの結晶粒が大きいことが重要である。単結晶の大きさ、多結晶における結晶粒の大きさは少なくとも $1\text{ }\mu\text{ m}$ 以上であることが必要である。 $1\text{ }\mu\text{ m}$ 未満であると粒界で失活する励起子が多くなり不都合である。

【0018】励起子発光を生じさせる励起方法としては、電子線、X線、紫外光、イオンビームなどを外部から照射して励起する方法と、PN接合、ショットキー接合、MIS接合、ヘテロ接合などのダイヤモンドに設けた電気的接合に電界を印加してダイヤモンド中にキャリアを注入する方法がある。

【0019】現在の技術では電子線や紫外光を照射する方法が、ダイヤモンド中に大量に励起子を発生するのに適している。電子線は 1 KeV 以上の加速エネルギーで照射することが好ましい。紫外光源はダイヤモンドの吸収端である 225 nm より短い波長の成分を多く含むエキシマレーザ、水銀ランプ、（重）水素放電ランプ、フラッシュランプ、SOR光などが望ましい。

【0020】また、金属とのショットキー接合や、窒化ホウ素や炭化珪素などとのヘテロ接合によってキャリアを注入する方法も小型化のために効果的である。このような電気的な接合を作るためには、ダイヤモンドに半導体性をもたせることが必要であるが、その際にはリチウム、ベリリウム、ホウ素、窒素、アルミニウム、珪素、リン、硫黄、塩素、ガリウム、ヒ素、セレン、などの元素を上記述べた方法でダイヤモンド結晶中に導入する必要がある。

【0021】その他には、ダイヤモンドの両側に設けた金属電極に交流電界を印加して励起する方法がある。この場合にはダイヤモンドは絶縁性でもよい。

【0022】励起子発光は熱による励起子の散乱によって効率が低下するので、ダイヤモンド結晶を液体窒素温度（ 77 K ）以下の低温にした方が好ましいが、ダイヤモンドにおいては励起子の結合エネルギーが大きいので室温においてもレーザ発振が可能である。

【0023】ダイヤモンドの励起はいかなる方法によっても、ダイヤモンド結晶の温度を上昇させるので、強かつ効果的な冷却手段を用意しなければならない。また、連続的にレーザを発振させる必要がなければ、パルス状に間欠的な励起を行うことが好ましい。

【0024】光共振器を構成する反射ミラーは、ダイヤモンド結晶の研磨面に金属を蒸着して構成することが、レーザ発振の効率を高めるために好ましいが、ダイヤモンド結晶の加工精度が光共振器に必要な平行度を得るレベルに達していない場合は、少なくとも一方の反射ミラーを、ダイヤモンド結晶の外部に設置することもできる。

【0025】本発明の固体レーザでは、複数の波長のレーザ光が同時に発振することがあるが、単一の波長のみを効率的に発振させるためには、光共振器の内部にブリズムや回折格子などの波長選択素子をおくことにより、一つの波長のレーザ光が効率よく発振し、波長帯域幅も狭くなる効果がある。本発明のレーザは光増幅器としても使用できる。

【0026】

【実施例】高圧合成法によって合成された平均 25 ppm 程度の窒素およびホウ素を含むIb型ダイヤモンド単結晶を $7\times 3\times 1\text{ mm}^3$ の直方体に加工した。このダイヤモンド直方体の全ての面は面粗さ $R_{\text{max}}500\text{ nm}$ 以下に研磨し、直方体の $3\times 1\text{ mm}^2$ の大きさの片方の面に金を蒸着して全反射ミラーとした。このダイヤモンド1を図1に示すように液体窒素で冷却された銅製の冷却支持台2上に設置し、周囲を約 10^{-7} Torr の真空中に排気した。

【0027】ダイヤモンド1の上方に設けた電子銃5からダイヤモンド1の $7\times 3\text{ mm}^2$ の大きさの面に向けて、加速電圧 25 KV 、電流 0.6 mA の電子ビームを約 0.02 秒間照射することを 1 秒間隔で繰り返した。

(4)

特開平6-97540

電子ビームの照射を繰り返しながら、全反射ミラー3の反対側に設置した半透過ミラー4の角度を微調整すると237.6nmのレーザ光の発振が確認された。

【0028】上記の条件で電子ビームの電流量を下げてもレーザ発振の様子を観察すると、図2に示すようにレーザ発振のしきい値は電子ビーム電流が0.54mAのところであることがわかった。

【0029】

【発明の効果】本発明によれば小型で安定な紫外線固体レーザを得ることができる。本発明の固体レーザは、高密度光記録装置用などの用途に好適である。

【図面の簡単な説明】

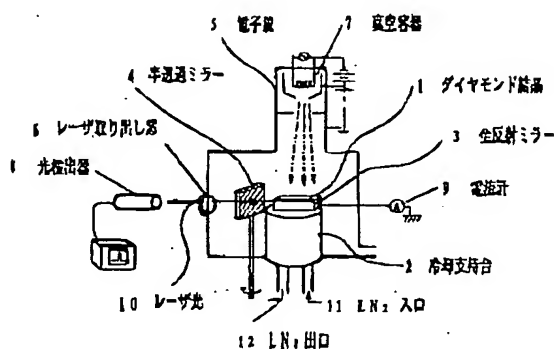
【図1】本発明の実施例を示す模式図。

【図2】電子ビーム電流に対するレーザ出力強度の変化を示すグラフ。

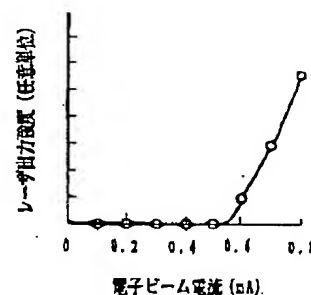
【符号の説明】

- 1：ダイヤモンド結晶
- 2：冷却支持台
- 3：全反射ミラー
- 4：半透過ミラー
- 5：電子銃
- 6：レーザ取り出し窓
- 7：真空容器
- 8：光検出器
- 9：電流計
- 10：レーザ光

【図1】



【図2】



フロントページの続き

(72)発明者 藤森 直治

兵庫県伊丹市尾陽北一丁目1番1号 住友
電気工業株式会社伊丹製作所内